

# Thème I. Ondes et signaux (Optique géométrique)

## TD n°1 Fondements de l'optique géométrique

### 💡 Méthode : Comment travailler des exercices ?

#### Avant la séance de TD :

- ★ Sur une feuille de brouillon, avec un crayon à la main et le chapitre ouvert sous les yeux.
- ★ Essayer des « trucs » même si cela n'aboutit pas.
- ★ Faire des schémas complets et suffisamment grands.
- ★ Ne rien écrire sur l'énoncé de TD afin de pouvoir refaire les exercices après la correction en classe.
- ★ Réfléchir environ 10 à 15 min sur chaque exercice demandé. Si vous bloquez complètement sur une question/un exercice, passez à la suite au bout de 10 min, et me poser des questions soit directement soit par mail [nvalade.pcsi@gmail.com](mailto:nvalade.pcsi@gmail.com).

#### Après la séance de TD :

- ★ Refaire les exercices corrigés ensemble, sans regarder le corrigé dans un premier temps.
- ★ Une fois l'exercice terminé ou si vous êtes totalement bloqué, reprendre avec le corrigé.

## I Exercices d'application directe du cours

### Exercice n°1 Vrai/Faux

	Vrai	Faux
Q1. Le spectre du Soleil est continu.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Q2. Lorsque la lumière se propage vers un milieu plus réfringent, le rayon réfracté se rapproche de la normale.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Q3. Un objet se trouve au fond d'une piscine. Tous les rayons qu'il diffuse sont visibles d'un observateur situé au bord de la piscine.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Q4. La lumière se propage plus vite dans l'eau ( $n_{\text{eau}} = 1,3$ ) que dans l'air ( $n_{\text{air}} = 1,0$ ).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Q5. Une lumière monochromatique de longueur d'onde dans le vide $\lambda = 5 \text{ mm}$ est visible par l'œil humain.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Q6. La lumière solaire peut être considérée comme monochromatique.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Q7. La lumière d'un LASER peut être considérée comme monochromatique.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Q8. On peut observer un phénomène de réflexion totale lorsqu'un rayon lumineux passe d'un milieu peu réfringent à un milieu plus réfringent.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Q9. Lors du phénomène de réflexion, la direction du rayon réfléchi dépend de la longueur d'onde de la lumière.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Q10. Lors du phénomène de réfraction, la direction du rayon réfracté dépend de la longueur d'onde de la lumière.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## Exercice n°2 Deux verres différents

### Capacités exigibles :

- ✓ Relier la longueur dans le vide à la longueur d'onde dans le milieu.
- ✓ Utiliser les lois de Descartes.

Le tableau ci-contre donne les longueurs d'onde dans le vide, de deux radiations monochromatiques et les indices correspondants pour deux types de verre différents.

Couleur	$\lambda_0$ (nm)	$n_{\text{crown}}$	$n_{\text{flint}}$
rouge	656,3	1,504	1,612
bleu	486,1	1,521	1,671

L'indice de l'air est pris égal à 1,000.

On prendra  $c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  comme valeur de la vitesse de la lumière dans l'air.

- Q1. Calculer les fréquences de ces ondes lumineuses. Dépendent-elles de l'indice du milieu ?
- Q2. Calculer les célérités et les longueurs d'onde de la radiation rouge dans les deux verres.
- Q3. Un rayon de lumière blanche arrive sur un dioptre plan air-verre sous l'incidence  $i = 60^\circ$ . Calculer l'angle que fait le rayon bleu avec le rayon rouge pour un verre crown puis pour un verre flint. Quel est le verre le plus dispersif ?

## Exercice n°3 Au fond du lac

### Capacités exigibles :

- ✓ Utiliser les lois de Snell-Descartes.

Un lac peut être modélisé par une interface air-eau confondue avec le plan  $Oxy$ . L'axe ( $Oz$ ) est normal à la surface du lac ; l'air d'indice 1,00 correspond à  $z > 0$  alors que l'eau d'indice  $n = 1,33$  occupe l'espace  $z < 0$ .

- Q1. Le Soleil fait un angle de  $60^\circ$  avec la verticale. Déterminer les caractéristiques du rayon réfléchi et transmis issus d'un rayon incident provenant du Soleil.
- Q2. Pour le Soleil couchant, déterminer les caractéristiques du rayon réfléchi et transmis.

## Exercice n°4 L'éclat du diamant

### Capacités exigibles :

- ✓ Utiliser les lois de Descartes.
- ✓ Établir la condition de réflexion totale.

L'éclat du diamant est lié à sa capacité à piéger la lumière qui pénètre à l'intérieur. La forme du diamant permet aussi de renforcer son éclat.

Données :  $n_{\text{diamant}} = 2,4$  ;  $n_{\text{verre}} = 1,7$  ;  $n_{\text{eau}} = 1,33$

- Q1. Justifier que la lumière pénètre dans le diamant
- Q2. Calculer  $i_L$ , l'angle limite d'incidence de la lumière dans le diamant, au-delà duquel la lumière est totalement réfléchie à l'intérieur du diamant. Commenter.

Du verre est taillé à la manière d'un diamant, pour fabriquer des bijoux à bas coût.

- Q3. Calculer l'angle de réflexion totale verre/air. Comparer au cas du diamant.
- Q4. Lorsqu'on plonge le faux diamant dans l'eau, il perd son éclat. Justifier.

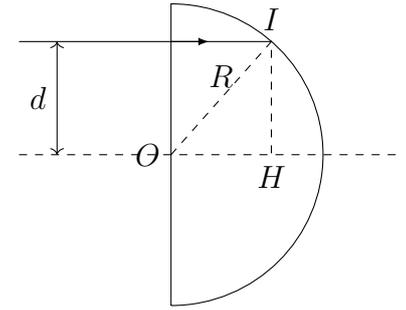
## II Exercices d'approfondissement

### Exercice n°5 Trajet d'un rayon dans une demi-boule

On s'intéresse au trajet de rayons lumineux se propageant dans une demi-boule de centre  $O$  et de rayon  $R$ , d'indice optique  $n$  plongée dans l'air.

Le rayon arrive normalement à la face plane de la demi-boule, il est alors distant de  $d$  par rapport à l'axe optique. On note  $I$  le point d'incidence sur la partie sphérique,  $i$  l'angle d'incidence en  $I$  et  $r$  l'angle de réfraction en  $I$ .

Le rayon émergent, lorsqu'il existe, coupe l'axe optique en  $A$ .



- Q1. Pourquoi peut-il se produire le phénomène de réflexion totale en  $I$ ? Établir l'inégalité que doit vérifier l'angle d'incidence  $i$  pour qu'il y ait réflexion totale en  $I$ .
- Q2. À l'aide d'un peu de trigonométrie, établir l'expression de l'angle d'incidence  $i$  en fonction de  $d$  et  $R$ .
- Q3. En déduire l'expression de la distance  $d_{\text{lim}}$  à l'axe optique pour qu'il y ait réflexion totale en  $I$ . Se produit-elle lorsque  $d > d_{\text{lim}}$ ? ou lorsque  $d < d_{\text{lim}}$ ?

On considère dans la suite que  $d < d_{\text{lim}}$ . La suite est un peu plus calculatoire et nécessite de manipuler (un peu) la trigonométrie. Aidez-vous d'un grand schéma que vous complétez clairement.

- Q4. Montrer que la distance  $OA$  s'exprime en fonction de  $R$ ,  $i$  et  $r$  par :  $OA = R \left( \cos(i) + \frac{\sin(i)}{\tan(r - i)} \right)$ .
- Q5. En déduire la position limite  $F'$  du point  $A$  lorsque  $d$  est très petit. On donnera l'expression en fonction de  $R$  et  $n$ .

## III Résolution de problèmes

### Exercice n°6 Attraper un objet dans l'eau

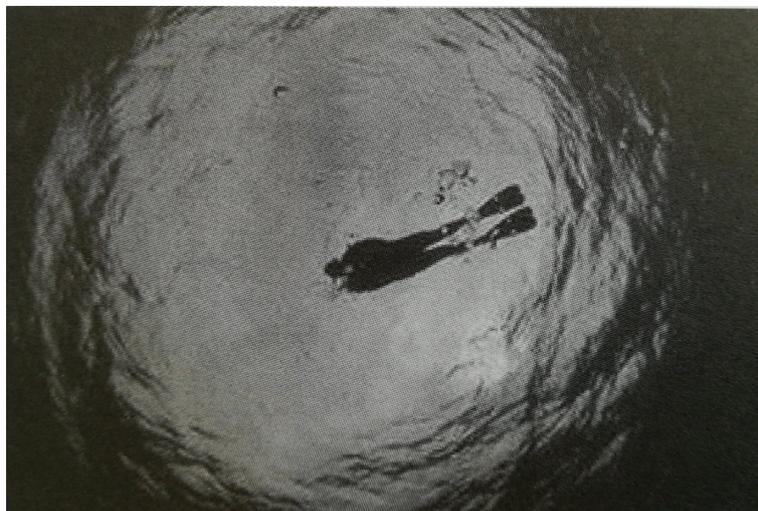
Louise, 6 ans, de taille 110 cm regarde un objet au fond de sa petite piscine alors qu'elle est située au bord. La piscine de hauteur 50 cm contient une épaisseur de 40 cm d'eau ( $n_{\text{eau}} = 1,33$ ). L'objet semble se situer, pour Louise, à une distance de 1,5 m du bord.

À quelle distance se situe véritablement l'objet ?

On rappelle que le cerveau interprète la position des objets comme si la lumière qui en provient c'était dirigée en ligne droite depuis l'objet, même si le vrai rayon subit effectivement une réfraction ou une réflexion.

### Exercice n°7 Gouffre lumineux

Estimer la profondeur à laquelle se situe l'observateur.



## Exercice n°8 L'horizon

Par une belle fin de journée de septembre, au bord de la plage à Cassis, la photo ci-dessous a été prise.



À quelle distance se trouve l'horizon ?

## Sources lumineuses et lois de Snell-Descartes

**Prérequis**

Lois de Snell-Descartes. Notions de base sur les ondes lumineuses et leur propagation dans un milieu. Notions de base de géométrie concernant les angles.

**Constantes utiles**

- célérité de la lumière dans le vide :  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- constante de Planck :  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

### Lois de Snell-Descartes

**Entraînement 1.1 — Conversions d'angles.**



Soit  $\alpha_{\text{rad}}$  la mesure d'un angle en radians,  $\alpha_{\text{deg}}$  sa mesure en degrés et  $\alpha_{\text{min}}$  sa mesure en minutes d'angle.

- a) Exprimer  $\alpha_{\text{rad}}$  en fonction de  $\alpha_{\text{deg}}$ .
- b) Exprimer  $\alpha_{\text{min}}$  en fonction de  $\alpha_{\text{deg}}$ .

**Entraînement 1.2 — Conversions d'angles — bis.**



- a)  $\alpha = 35,65^\circ$ . Exprimer  $\alpha$  en degrés et en minutes d'angle.
- b)  $\beta = 98^\circ 15'$ . Exprimer  $\beta$  en radians.
- c)  $\gamma = 1,053 \text{ rad}$ . Exprimer  $\gamma$  en degrés et en minutes d'angle.

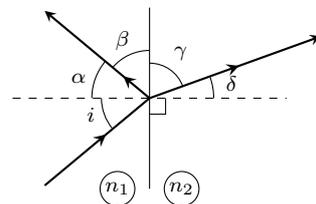
**Entraînement 1.3 — Un rayon incident sur un dioptre.**



On considère un rayon incident arrivant sur un dioptre séparant deux milieux d'indice respectif  $n_1$  et  $n_2$ .

Ce rayon fait un angle  $i$  avec la normale au dioptre.

Tous les angles figurant sur le schéma sont non orientés.



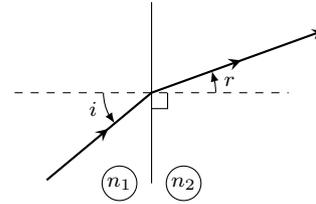
Exprimer chacun des angles suivants en fonction de  $i$  et/ou de  $n_1$  et  $n_2$  (en radians) :

- a)  $\alpha$
- b)  $\beta$
- c)  $\delta$
- d)  $\gamma$

**A.N.** **Entraînement 1.4 — Un autre rayon incident sur un dioptre.**



On considère un rayon incident arrivant sur un dioptre séparant deux milieux d'indice respectif  $n_1$  et  $n_2$ . Ce rayon fait un angle  $i$  avec la normale au dioptre alors que le rayon réfracté fait un angle  $r$ .



On donne  $n_1 = 1,00$  et  $n_2 = 1,45$ .

a) Pour  $i = 24,0^\circ$ , que vaut  $r$  en degré? .....

b) Pour  $i = 6,74 \times 10^{-1}$  rad, que vaut  $r$  en degré? .....

c) Pour  $r = 15,0^\circ$ , que vaut  $i$  en degré? .....

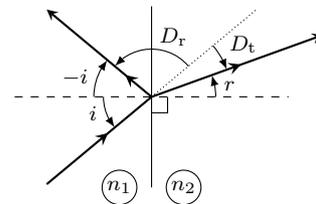
**Entraînement 1.5 — Déviation introduite par un dioptre.**



On considère un rayon incident arrivant sur un dioptre séparant deux milieux d'indice respectif  $n_1$  et  $n_2$ .

Les angles définis sur le schéma ci-contre sont tous orientés.

On définit  $D_r$  la déviation entre le rayon incident et le rayon réfléchi, et  $D_t$  la déviation entre le rayon incident et le rayon réfracté.



a) Exprimer  $D_t$  en fonction de  $i$  et  $r$ . .....

b) Déterminer  $D_r$ . .....

**Entraînement 1.6 — Un peu de géométrie dans un prisme.**

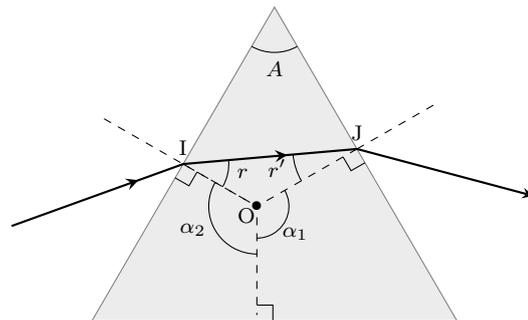


On considère un prisme d'angle au sommet  $A$ , représenté ci-contre suivant une de ses faces triangulaires.

Un rayon incident en  $I$  sur une face du prisme émerge en  $J$ .

On définit les angles  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $r$  et  $r'$  sur le schéma.

Dans cet entraînement, les angles ne sont pas orientés.



On rappelle que la somme des angles dans un quadrilatère est égale à  $2\pi$ .

a) Exprimer l'angle  $A$  en fonction de  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$  .....

b) Exprimer l'angle  $A$  en fonction de  $r$  et de  $r'$  .....

# Autour des réflexions totales

**A.N.** **Entraînement 1.7**



On considère un dioptre séparant deux milieux d'indices respectifs  $n_1 = 1,5$  et  $n_2 = 1,3$ . Un rayon lumineux arrive sur ce dioptre en formant un angle  $i$  par rapport à sa normale.

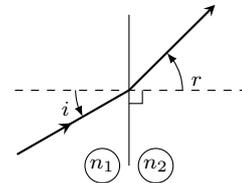
On rappelle qu'il y a réflexion totale si  $\frac{n_1}{n_2} \sin(i) > 1$ .

- a) Pour  $i = 44^\circ$ , y a-t-il réflexion totale? .....
- b) Donner, en degrés, l'angle  $i_\ell$  tel qu'il y a réflexion totale si  $i > i_\ell$ . .....

**A.N.** **Entraînement 1.8**



On considère un rayon lumineux incident sur le dioptre  $n_1/n_2$ , faisant un angle  $i$  avec la normale à ce dioptre et le rayon réfracté un angle  $r$ .



On donne  $n_1 = 1,37$  et on rappelle qu'il y a réflexion totale si  $\frac{n_1}{n_2} \sin(i) > 1$ .

- a) Pour  $i = 20,0^\circ$  et  $r = 22,0^\circ$ , que vaut  $n_2$ ? .....
- b) Pour  $i = 60,0^\circ$ , quelle est la valeur maximale de  $n_2$  donnant lieu à une réflexion totale? ...
- c) On suppose que  $i = 40,0^\circ$ . Peut-on observer un phénomène de réflexion totale? .....

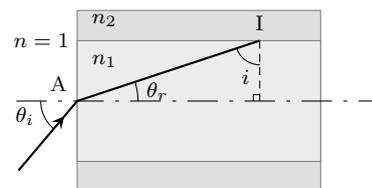
**Entraînement 1.9 — Condition de propagation dans une fibre optique.**



Un rayon lumineux arrive sur un dioptre séparant l'air d'un milieu d'indice  $n_1$  au point A (voir schéma ci-contre). On a donc :

$$\sin(\theta_i) = n_1 \sin(\theta_r). \tag{1}$$

Le rayon se propagera dans la fibre à condition qu'il y ait réflexion totale au point I situé à l'intersection du rayon lumineux et du dioptre  $n_1/n_2$  (avec  $n_1 > n_2$ ).



On donne la relation correspondante :

$$\frac{n_1 \sin(i)}{n_2} > 1 \tag{2}$$

- a) À l'aide de (1), exprimer  $\cos(\theta_r)$  en fonction de  $n_1$  et de  $\sin(\theta_i)$ . ....
- b) À quelle condition portant sur  $\cos(\theta_r)$  équivaut (2)? .....
- c) En déduire à quelle condition sur  $\sin(\theta_i)$  équivaut (2). .....

## Sources lumineuses

### A.N. Entraînement 1.10 — Propagation de la lumière.



Un laser vert émet une radiation lumineuse de longueur d'onde dans le vide  $\lambda_0 = 532 \text{ nm}$ . Calculer :

a) La fréquence de l'onde .....

b) L'énergie d'un photon .....

### QCM Entraînement 1.11



Une radiation lumineuse de longueur d'onde  $\lambda_0$  passe du vide vers un milieu transparent d'indice  $n$ .

Quelles quantités sont inchangées ?

(a) La longueur d'onde

(c) La vitesse de propagation

(b) L'énergie d'un photon

(d) La fréquence de l'onde

.....

### A.N. Entraînement 1.12 — Propagation dans un milieu.



Un laser de longueur d'onde dans le vide  $\lambda_0 = 532 \text{ nm}$  se propage dans de l'eau, assimilée à un milieu transparent d'indice optique  $n = 1,33$ .

Donner la valeur numérique dans l'eau de :

a) La vitesse de la lumière. ....

b) La longueur d'onde. ....

### Réponses mélangées

$60 \times \alpha_{\text{deg}}$	$\sin(\theta_i) < \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$	$35^\circ 39'$	$\frac{\pi}{2} - i$	$22,0^\circ$	$\cos(\theta_r) > \frac{n_2}{n_1}$	1,25
Non	Non	$16,3^\circ$	$25,5^\circ$	$(\alpha_1 + \alpha_2) - \pi$	$2,26 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	400 nm
$\frac{\pi}{2} - \arcsin\left(\frac{n_1}{n_2} \sin(i)\right)$	564 THz	1,18	$60^\circ 20'$	$\sqrt{1 - \frac{\sin^2(\theta_i)}{n_1^2}}$	$60^\circ$	$\frac{\pi}{180} \times \alpha_{\text{deg}}$
$3,74 \times 10^{-19} \text{ J}$	(b) et (d)	1,715 rad	$\arcsin\left(\frac{n_1}{n_2} \sin(i)\right)$	$\pi - 2i$	$r + r'$	$i$

► Réponses et corrigés page 5